

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

Покрытия порошковые металлические и неметаллические неорганические

Общие технические условия

ОСТ 4Г 0.014.205-84

Издание официальное

1984

УДК 669-492.2 Группа В56

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ ПОКРЫТИЯ ПОРОШКОВЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ И НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НЕОРГАНИЧЕСКИЕ Общие технические условия ОКСТУ 1791	ОСТ 4Г 0.014.205-84 Введен впервые

Директивным письмом организации от 28.03.84 № 017-107/К/1747 срок введения установлен с 01.07.85.

Настоящий стандарт распространяется на покрытия металлические и неметаллические неорганические, получаемые плазменным и детонационным способами напыления порошков на металлические и неметаллические поверхности с целью придания специальных свойств поверхностному слою или восстановления изношенных поверхностей деталей.

Стандарт устанавливает общие технические требования, правила приемки изделий с покрытиями из металлических и неметаллических неорганических порошков и методы их контроля.

Термины, применяемые в стандарте, и пояснения к ним приведены в справочном приложении 1.

Свойства некоторых покрытий приведены в справочном приложении 2.

ГР 8328144
от 04.09.84.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКРЫТИЙ

1.1. По способу нанесения покрытия подразделяются на:
плазменные;
детонационные.

1.2. В зависимости от химического состава напыляемого порошка покрытия подразделяются на:
металлические;
неметаллические неорганические;
композиционные.

1.3. Покрытия металлические подразделяются на покрытия:
на основе железа, никеля;
из самофлюсующихся сплавов;
из терморегулирующих сплавов;
из тугоплавких металлов и сплавов;
из цветных металлов.

1.4. Покрытия неметаллические неорганические подразделяются на:
оксидные;
карбидные, боридные, нитридные.

1.5. Композиционные покрытия получают при напылении порошков, включающих составляющие по пп. 1.3 и 1.4.

1.6. В зависимости от назначения покрытия подразделяются на:
износостойкие;
высокотемпературные;
коррозионно-стойкие;
со специальными физическими свойствами;
для восстановления размеров деталей;
для саморегулирования зазоров сопрягаемых деталей.

1.7. Износостойкие покрытия подразделяются на:
износостойкие в условиях адгезионного изнашивания (изнашивания при заедании);
износостойкие в условиях абразивного изнашивания;
износостойкие в условиях усталостного изнашивания;
износостойкие в условиях эрозионного изнашивания.

1.8. Высокотемпературные покрытия подразделяются на:
для защиты от воздействия агрессивных газовых сред;
для защиты от воздействия металлических расплавов;
эрозионно стойкие;
теплозащитные.

1.9. Коррозионно-стойкие покрытия подразделяются на:
для защиты от воздействия воздушной среды;
для защиты от воздействия воды и водных растворов.

1.10. Покрытия со специальными физическими свойствами подразделяются на:
электропроводные;
электроизоляционные;
экранирующие;
терморегулирующие.

1.11. Покрытия для восстановления размеров деталей подразделяются на:
для деталей из черных металлов и сплавов;
для деталей из цветных металлов и сплавов.

1.12. Покрытия для саморегулирования зазоров сопрягаемых деталей подразделяются на:
изнашиваемые;
изнашивающие.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

2.1. Требования, предъявляемые к порошкам

2.1.1. Все порошки, предусмотренные технологическим процессом, должны пройти входной контроль на соответствие нормативно-техническим документам (НТД) на поставку. Каждая партия напыляемых порошков должна иметь паспорт с указанием наименования материала, его марки, химического состава, размера частиц, даты изготовления.

2.1.2. Порошки должны храниться в соответствии с НТД на каждый конкретный порошок.

2.1.3. Порошки, предназначенные для плазменного напыления, должны иметь гранулометрический состав в пределах от 10 до 125 мкм, а для детонационного напыления – от 5 до 63 мкм. Конкретное значение гранулометрического состава выбирают в зависимости от конструкционных особенностей детали, от состава напыляемого порошка, от конструкции напылительного устройства, а также от технических требований к покрытию, его назначения.

Получение требуемого гранулометрического состава напыляемого порошка должно быть обеспечено технологическим процессом подготовки порошка.

2.1.4. Порошки перед нанесением покрытий должны пройти операцию сушки.

2.1.5. Порошки, используемой фракции, после операции просеивания должны пройти контрольную проверку химического состава.

2.2. Требования к покрываемым изделиям

2.2.1. Изделия должны быть обработаны в соответствии с требованиями чертежа, с учетом толщины покрытия.

2.2.2. Твердость материала покрываемой детали не должна превышать:

для плазменного напыления $HRC_э$ 35...40;

для детонационного напыления $HRC_э$ 50...55,

2.2.3. Шероховатость поверхности по ГОСТ 2789-73, подготовленной для напыления, должна быть в пределах:

под плазменные покрытия Rz 160...40 мкм;

под детонационные покрытия Rz 80...20 мкм.

При нанесении покрытий толщиной более 1,0 мм или при эксплуатации деталей в условиях повышенных нагрузок (особенно срезающих) допускается производить специальную механическую обработку покрываемой поверхности (нарезка "рваной" резьбы, фрезерование канавок, накатка резьбы роликом) по согласованию с заказчиком.

Необходимость доведения шероховатости поверхности до установленных значений и способ подготовки напыляемой поверхности должны быть оговорены в технических требованиях чертежа.

2.2.4. На поверхности, подлежащей напылению, не допускаются:

неоднородность проката, закатанная окалина, заусенцы;

расслоения и трещины;

поры и раковины, выводящие размеры детали после контрольной зачистки за предельные отклонения;

сварочные брызги, остатки флюсов, пайка.

2.2.5. На поверхности деталей после механической обработки не допускаются слой смазки или эмульсии, металлическая стружка, заусенцы, пыль и продукты коррозии.

2.2.6. На поверхности деталей после абразивной обработки не допускаются продукты коррозии, заусенцы, шлам.

2.2.7. На поверхности шлифованных деталей не допускаются забоины, вмятины, прижоги, риски, заусенцы.

2.2.8. Острые углы и кромки деталей должны быть скруглены или иметь фаски;

для плазменного напыления радиус скругления не менее 1 мм или фаска не менее $1 \times 45^\circ$;

для детонационного напыления радиус скругления не менее 0,2 мм или фаска не менее $0{,}2 \times 45^\circ$.

2.2.9. При нанесении покрытий на детали с пересекающимися поверхностями острые кромки необходимо закруглить радиусом не менее 1 мм для плазменного напыления и не менее 0,4 мм для детонационного напыления.

2.2.10. В деталях, имеющих отверстия, пазы, канавки, соотношение между диаметром (шириной) и глубиной не должно быть менее 2:1.

2.2.11. Поверхности, не подлежащие напылению, при необходимости, должны быть защищены при операции подготовки покрываемой поверхности (например, при струйно-абразивной подготовке) и операции напыления.

2.2.12. Требования к изделию, не предусмотренные настоящим стандартом, по согласованию с заказчиком, допускается указывать в НТД или конструкторской документации.

2.3. Требования к покрытиям

2.3.1. К покрытиям в процессе производства и приемки предъявляются требования к внешнему виду, толщине, прочности сцепления и, при необходимости, к специальным свойствам.

П р и м е ч а н и е. Допустимые сочетания материалов по контактной совместимости определять по ГОСТ 9.005-72.

2.3.2. На поверхностях деталей с покрытиями после напыления не допускаются:
- вздутия и вспучивания;
- отслоения;
- сколы;
- трещины и расслоения;
- прожоги;
- посторонние включения.

Наличие цветов побежалости не является браковочным признаком.

2.3.3. По толщине плазменные покрытия могут быть в пределах от 0,015 до 3 мм (в отдельных случаях до 6 мм) Оптимальная толщина плазменного покрытия не более 1 мм.

По толщине детонационные покрытия могут быть в пределах от 0,005 до 1,5 мм. Оптимальная толщина детонационного покрытия не более 0,25 мм.

Толщина покрытия зависит от характеристик материалов покрытия и изделия, назначения покрытия и условий работы изделия и указывается в технологической документации в зависимости от требований чертежа.

2.3.4. По прочности сцепления покрытия должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Покрытие	Основной покрываемый материал	Способ получения покрытия	Прочность сцепления, МПа (кгс/мм^2), не менее, при толщине покрытия, мм: менее 0,50	от 0,51 до 1,00
На основе железа, никеля	Сталь	Плазменный, детонационный	20 (2,0)	10 (1,0)
	Цветные металлы	Плазменный	50 (5,0) 5 (0,5)	– 3 (0,3)
Из самофлюсующихся сплавов	Сталь	Плазменный	100 (10,0) после оплавления	100 (10,0) после оплавления
Из термореагирующих сплавов	Сталь	Плазменный, детонационный	20 (2,0)	10 (1,0)
	Цветные металлы	Плазменный	50 (5,0) 10 (1,0)	– 5 (0,5)
Из тугоплавких металлов и сплавов	Сталь	Плазменный, детонационный	10 (1,0)	5 (0,5)
	Цветные металлы	Плазменный	50 (5,0) 5 (0,5)	– 3 (0,3)

Продолжение табл. 1

Покрытие	Основной покрываемый материал	Способ получения покрытия	Прочность сцепления, МПа (кгс/мм^2), не менее, при толщине покрытия, мм	
			менее 0,50	от 0,51 до 1,00
Из цветных металлов	Сталь	Плазменный	20 (2,0)	10 (1,0)
		детонационный	50 (5,0)	–
	Цветные металлы	Плазменный	5 (0,5)	3 (0,3)
Неметаллическое неорганическое	Сталь	Плазменный	8 (0,8)	4 (0,4)
		детонационный	20 (2,0)	–
	Цветные металлы	Плазменный	5 (0,5)	3 (0,3)
Композиционное	Сталь	Плазменный	10 (1,0)	5 (0,5)
		детонационный	50 (5,0)	–
	Цветные металлы	Плазменный	5 (0,5)	3 (0,3)

П р и м е ч а н и е. Прочность сцепления при толщине покрытия более 1 мм стандартом не регламентируется.

2.3.5. По пористости покрытия должны соответствовать требованиям, указанным в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Покрытие	Способ получения покрытия	Пористость, %, не более
На основе железа, никеля	Плазменный	10
	детонационный	2
Из самофлюсующихся сплавов	Плазменный	5 (после оплавления)
Из термореагирующих сплавов	Плазменный	10
	детонационный	2
Из тугоплавких металлов и сплавов	Плазменный	10
	детонационный	2
Из цветных металлов	Плазменный	10
	детонационный	2
Неметаллическое неорганическое	Плазменный	15
	детонационный	4
Композиционное	Плазменный	15
	детонационный	2

2.3.6. Твердость и микротвердость покрытия зависят от состава напыляемого порошка и изменений его химического состава в процессе напыления.

Твердость плазменных покрытий достигает максимум HV 750 .. 850, твердость детонационных покрытий – HV 1100... 1220.

Твердость покрытия должна соответствовать требованиям конструкторской документации.

2.3.7. Специальные свойства покрытий (например, износостойкость, коррозионная стойкость и др.) должны соответствовать требованиям конструкторской документации и НТД на материалы.

2.3.8. Требования к покрытиям, не предусмотренные настоящим стандартом, а также допускаемые отклонения от настоящего стандарта, связанные со спецификой обрабатываемых деталей или с особыми требованиями к покрытиям, по согласованию с заказчиком, указывают в НТД или конструкторской документации.

2.3.9. После механической обработки покрытия по внешнему виду должны соответствовать требованиям п. 2.3.2, а по толщине – требованиям конструкторской документации.

3. ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

3.1. Изделия с напыленными покрытиями предъявляются к сдаче партиями. За партию принимают любое количество изделий одного типоразмера с покрытиями, полученными напылением порошка одной марки, по одному технологическому режиму и оформленных одним документом о качестве.

3.2. Изделия с покрытиями должны подвергаться приемо-сдаточным и типовым испытаниям в соответствии с требованиями конструкторской документации согласно табл. 3.

Таблица 3

Содержание требования	Виды испытаний		Номер пункта		Количество образцов от партии
	Приемо-сдаточные	Типовые	технических требований	методов контроля	
Качество поверхности покрытия	+	+	2.3.2	4.11	100 %
Толщина покрытия	+	+	2.3.3	4.12	От 1 до 3 %, но не менее 10 шт.
Прочность сцепления	–	+	2.3.4	4.13	5 стандартных образцов
Пористость	–	+	2.3.5	4.14	3 стандартных образца
Твердость	–	+	2.3.6	4.15	3 стандартных образца
Микротвердость	–	+	2.3.6	4.16	3 стандартных образца
Износостойкость	–	+	2.3.7	4.17	3 стандартных образца
Способность к совместной деформации	–	+	2.3.7	4.17	3 стандартных образца
Жаропрочность	–	+	2.3.7	4.17	3 стандартных образца

Продолжение табл. 3

Содержание требования	Виды испытаний		Номер пункта		Количество образцов от партии
	Приемо-сдаточные	Типовые	технических требований	методов контроля	
Коррозионная стойкость в атмосфере	–	+	2.3.7	4.17	3 стандартных образца
Усталостная прочность	–	+	2.3.7	4.17	3 стандартных образца
Качество поверхности обработанного покрытия	+	+	2.3.9	4.18	1 %, но не менее 10 шт.
Соответствие чертежам формы и размеров изделия	+	+	2.3.9	4.18	1 %, но не менее 10 шт.

Примечания:

1. В таблице знак "плюс" означает, что испытание проводят, а знак "минус"- испытание не проводят.

2. Для проведения испытаний стандартные образцы изготовляют в утроенном количестве по тому же технологическому процессу, что и партия изделий с покрытием.

3.3. Типовые испытания проводят при отработке и изменении технологии нанесения покрытий, а также не реже одного раза в год на одной партии изделий с покрытиями из каждой марки напыляемого порошка.

3.4. При невозможности контроля качества покрытий, например на крупных деталях или на деталях одиночного производства, допускается производить контроль покрытий на образце-свидетеле или гарантировать качество покрытий правильностью выполнения технологического процесса, подтвержденной записью в журнале контроля технологического процесса по ГОСТ 3.1505-75.

Образцы-свидетели должны быть изготовлены по одной и той же технологической документации, что и детали контролируемой партии в соответствии с НТД на соответствующее испытание.

3.5. Одни и те же детали и образцы-свидетели могут быть использованы для различных контрольных испытаний.

3.6. Контроль качества покрытий проводят после остывания деталей до температуры помещения, в котором проводят контроль.

3.7. При получении неудовлетворительных результатов испытаний хотя бы по одному из требований по нему проводят повторные испытания на удвоенном количестве образцов, взятых из той же партии.

Если при повторных испытаниях окажется хотя бы одно изделие с покрытием, не удовлетворяющее тому же требованию, то вся партия бракуется.

4. МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

4.1. Контроль по пп. 2.1.1, 2.1.2 производят проверкой наличия паспорта на порошок, с указанием его характеристик на соответствие НТД.

4.2. Контроль гранулометрического состава порошков по п. 2.1.3 проводят в соответствии с ГОСТ 18318-73.

4.3. Контроль влажности порошка после операции сушки по п. 2.1.4 производят в соответствии с НТД на порошок.

4.4. Контроль химического состава порошков по п. 2.1.5 производят в соответствии с НТД на порошок.

4.5. Контроль размеров изделия до операции напыления по п. 2.2.1 на соответствие чертежу производят при помощи средств измерения, обеспечивающих требуемую точность.

4.6. Твердость материала детали по п. 2.2.2 проверяют по ГОСТ 9013-59.

4.7. Шероховатость напыляемой поверхности по п.2.2.3 контролируют по ГОСТ 9378-75.

4.8. Контроль по пп. 2.2.4, 2.2.5, 2.2.6, 2.2,7, 2.2.8, 2.2,9 производят внешним осмотром в помещении освещенностью не менее 300 лк на расстоянии 25 см от контролируемой поверхности.

Необходимость применения оптических приборов с указанием кратности увеличения должна быть оговорена в технической документации.

4.9. Контроль размеров по п. 2.2.10 производят в соответствии с п. 4.5.

4.10. Контроль по п. 2.2.11 производят внешним осмотром изделия, подготовленного к соответствующей операции.

4.11. Контроль качества покрытия после напыления по п. 2.3.2 производят в соответствии с п. 4.8.

4.12. Контроль толщины покрытия по п. 2.3.3 производят микрометром по ГОСТ 6507-~~78~~90, штангенциркулем по ГОСТ 166-~~80~~89 и методами контроля толщины покрытий по ГОСТ 9.302-~~79~~88

4.13. Контроль прочности сцепления покрытия с основным покрываемым материалом по п. 2.3.4 производят по ГОСТ 14760-69 методом разрыва клеевого соединения покрытия с "ложным" образцом и методами контроля прочности сцепления по ГОСТ 9.302-79.

4.14. Пористость покрытия по п. 2.3.5 определяют методом гидростатического взвешивания по ГОСТ 18898-~~73~~89, методами контроля по ГОСТ 9.302-79 или по ГОСТ 2409-80.

4.15. Твердость покрытий по п. 2.3.6 определяют:

по Роквеллу по ГОСТ 9013-59;

по Бринеллю по ГОСТ 9012-59;

по Виккерсу по ГОСТ 2999-75.

4.16. Микротвердость покрытий по п. 2.3.6 определяют по ГОСТ 9450-76 с помощью прибора ПМТ-3 по ГОСТ 10717-75.

4.17. Специальные свойства покрытий по п. 2.3.7 определяют:

испытанием на абразивное изнашивание при трении о закрепленные частицы по ГОСТ 17367-71;

испытанием листовых образцов с покрытием на способность к совместной деформации путем определения пробы по Эриксону по ГОСТ 10510-80;

определением жаропрочности покрытий по ГОСТ 6130-71;

испытанием на атмосферную коррозию по ГОСТ ~~17332-71~~ 9.909-86 с определением балла коррозии по ГОСТ 13819-68;

испытанием на усталостную прочность по ГОСТ 25.502-79.

4.18. Контроль внешнего вида покрытия и толщины покрытия после механической обработки по п. 2.3.9 производят в соответствии с п п. 4.8 и 4.12.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
Справочное

ТЕРМИНЫ И ПОЯСНЕНИЯ

Термин	Пояснение
1. Плазменный способ получения покрытия	По ГОСТ 9.008-82
2. Детонационный способ получения покрытия	По ГОСТ 9.008-82
3. Плазменное покрытие	По ГОСТ 9.008-82
4. Детонационное покрытие	По ГОСТ 9.008-82
5. Металлическое покрытие	По ГОСТ 9.008-82
6. Неметаллическое неорганическое покрытие	По ГОСТ 9.008-82
7. Композиционное покрытие	По ГОСТ 9.008-82
8. Изнашивание	По ГОСТ ~~23.002-78~~ 27674-88
9. Износостойкое покрытие	Покрытие, стойкое к изнашиванию в определенных условиях трения
10. Высокотемпературное покрытие	Покрытие, улучшающее эксплуатационные свойства основного покрываемого материала при высоких температурах, противостоящее высокотемпературному химическому или физическому разложению и механическому разрушению вследствие эрозии или одновременно обоим видам разрушения

Продолжение

Термин	Пояснение
11. Высокотемпературное покрытие для защиты от агрессивных газовых сред	Высокотемпературное покрытие, защищающее основной покрываемый материал от разрушения вследствие высокотемпературного воздействия корродирующих газовых сред
12. Высокотемпературное покрытие для защиты от воздействия металлических расплавов	Высокотемпературное покрытие, стойкое к воздействию расплавленных металлов
13. Высокотемпературное эрозионно стойкое покрытие	Высокотемпературное покрытие, защищающее основной покрываемый материал от высокотемпературного газоэрозионного изнашивания при температуре выше 850 °С
14. Теплозащитное покрытие	Высокотемпературное покрытие, имеющее низкую теплопроводность и действующее как тепловой барьер, защищающее основной покрываемый материал от достижения температуры плавления
15. Коррозионно-стойкое покрытие	Покрытие, защищающее основной покрываемый материал от воздействия различных химически активных веществ
16. Покрытие со специальными физическими свойствами	Покрытие, придающее основному покрываемому материалу специальные физические свойства

Продолжение

Термин	Пояснение
17. Электропроводное покрытие	Покрытие со специальными физическими свойствами, имеющее низкое электрическое сопротивление
18. Электроизоляционное покрытие	Покрытие со специальными физическими свойствами, препятствующее прохождению электрического тока
19. Экранирующее покрытие	Покрытие со специальными физическими свойствами, предназначенное для защиты от радиочастотных помех
20. Терморегулирующее покрытие	Покрытие со специальными физическими свойствами, предназначенное для радиационного теплообмена излучением (поглощением)
21. Покрытие для восстановления размеров деталей	Покрытие, предназначенное для восстановления размеров деталей, которые изношены или имеют размерный брак после механической обработки, ковки, литья и т.д. Примечание. Предполагается, что это покрытие будет выполнять те же функции, что и основной материал; если покрытие должно работать лучше, необходимо обратиться к соответствующему пункту классификации покрытий

Продолжение

Термин	Пояснение
22. Покрытие для саморегулирования зазоров сопрягаемых деталей	Покрытие, позволяющее сопрягаемым деталям в подвижном сочленении автоматически устанавливать требуемый зазор в процессе работы, обеспечивая наиболее эффективное уплотнение для уменьшения или предотвращения утечки газов
23. Изнашиваемое покрытие для саморегулирования зазоров сопрягаемых деталей	Покрытие для саморегулирования зазоров сопрягаемых деталей, допускающее предпочитаемое изнашивание при вступлении в контакт с сопрягаемой деталью
24. Изнашивающее покрытие для саморегулирования зазоров сопрягаемых деталей	Покрытие для саморегулирования зазоров сопрягаемых деталей, обеспечивающее облегчение прирабатываемости сопряженной детали

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ

1. ОСОБЕННОСТИ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

1.1 Процесс нанесения покрытий заключается в нанесении отдельных частиц в расплавленном или вязкотекучем состоянии на подготовленную поверхность. Поэтому все напыленные покрытия имеют три характерные особенности: слоистую структуру, пористое строение и пониженную механическую прочность по сравнению с литыми и порошковыми материалами.

1.2. Свойства напыленного материала во многом отличаются от свойства исходного материала: происходит изменение химического состава, параметров решетки и структуры.

1.3. При определении свойств покрытий необходимо учитывать, что на процесс напыления влияет ряд факторов, трудно поддающихся контролю (например, такие как степень износа катода и анода и квалификация металлизатора и т.д. при плазменном напылении), поэтому показатели свойств покрытий характеризуются значительным разбросом.

2. ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

2.1. Важным критерием для оценки качества покрытий, определяющим работоспособность изделия в целом, является прочность сцепления между покрытием и основным покрываемым материалом.

Сцепление в основном зависит от качества подготовки поверхности и свойств напыляемого и основного покрываемого материала и определяется физико-химическим состоянием материала на границе "основной покрываемый материал-покрытие". Применяются различные виды подготовки поверхности: абразивно-струйная обработка, химическое травление и другие. Наибольшие значения прочности сцепления дает детонационный способ напыления, а при плазменном напылении наибольшие значения прочности сцепления достигаются при комплексной механической и абразивно-струйной обработке поверхности. Предварительное нанесение подслоя позволяет значительно увеличить прочность сцепления покрытий.

Ориентировочная прочность сцепления при плазменном напылении оксидных покрытий толщиной 0,5 мм со сталью 12Х18Н9Т в зависимости от нанесенного подслоя приведена в табл. 1.

Таблица 1

Материал подслоя	Прочность сцепления, МПа (кгс/мм^2)	
	Оксид алюминия 15А	Диоксид циркония ПЦП
Без подслоя	7,5 (0,75)	6,0 (0,60)
Медь	6,5 (0,65)	4,8 (0,48)
Сталь 12Х18Н10Т	10,0 (1,0)	-
Нихром ПХ20Н80	16,1 (1,61)	10,1 (1,01)
ПН75Ю23В (ВКНА)	14,1 (1,41)	10,9 (1,09)

В качестве подслоя могут применяться различные материалы, наилучшие результаты по прочности сцепления покрытий достигаются при применении порошков нихрома ПХ20Н80 и никель-алюминиевых сплавов марок ПН75Ю23В (ВКНА) и ПН85Ю15.

2.2. Важным фактором, влияющим на прочность сцепления покрытий с основным покрываемым материалом, является их толщина. С ростом толщины слоя покрытия вследствие увеличения внутренних остаточных напряжений, возникающих при нанесении покрытий, его прочность сцепления снижается. Влияние толщины покрытия на прочность сцепления плазменного

покрытия из оксида алюминия, нанесенного на сталь Ст.3, приведено в табл. 2.

Таблица 2

Толщина покрытия, мм	Прочность сцепления, МПа (кгс/мм^2)
0,15	32,5 (3,25)
0,30	22,5 (2,25)
0,50	12,8 (1,28)
0,80	10,3 (1,03)
2,10	9,0 (0,9)

3. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

3.1. Используемые для плазменного напыления электроизоляционных покрытий жаростойкие оксиды относятся к классу изоляторов, обладающих ионной проводимостью, т.е. материалов с удельным сопротивлением при температуре (20±5) °С $\rho = 10^8 \ldots 10^{10}$ Ом·м.

3.2. На электрическое сопротивление покрытий из жаростойких оксидов оказывает влияние целый ряд факторов, важнейшими из которых являются: наличие и физико-химические свойства примесей, состав рабочей среды, наличие адсорбированной влаги и пористость покрытий, температура окружающей среды и др.

3.3. Необходимо учитывать, что увеличение толщины покрытия не вызывает существенного роста электрического сопротивления покрытия, поэтому покрытия толщиной свыше 0,2–0,5 мм следует использовать в случаях работы изоляции при прикладываемом напряжении величиной свыше 1,0 кВ.

4. ТЕРМОСТОЙКОСТЬ

4.1. В процессе работы при высоких температурах вследствие разницы в величинах коэффициентов термического расширения покрытия и основного покрываемого материала возникающие напряжения могут привести к отслоению покрытия.

Для повышения термостойкости оксидных покрытий, полученных при плазменном напылении, следует использовать следующие приемы:

нанесение промежуточного слоя из материала, имеющего средний между материалом покрытия и основного покрываемого материала коэффициент термического расширения;

нанесение оксидных покрытий с использованием переходных слоев, по схеме металлическое покрытие – композиционное покрытие – оксидное покрытие;

нанесение оксидных покрытий, имеющих близкий по величине к материалу подложки коэффициент термического расширения;

армирование оксидных покрытий высокопрочными металлическими волокнами.

4.2. Влияние материала подслоя на термическую стойкость покрытия из оксида алюминия толщиной 0,5 мм на стали Ст. 3, полученного плазменным напылением при нагреве до 900 °С в течение 10 мин, приведено в табл. 3.

Таблица 3

Материал подслоя	Число теплосмен до отслоения покрытия
Без подслоя	2–5
Молибден	0–2
Вольфрам	0–1
Сталь коррозионно-стойкая (12Х18Н10Т)	25–48

Продолжение табл. 3

Материал подслоя	Число теплосмен до отслоения покрытия
Нихром (ПХ20Н80)	20–48
Сплав ПН75Ю23В (ВКНА)	25–48

5. СВОЙСТВА ОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

5.1. Наиболее распространенными материалами, используемыми при плазменном напылении электроизоляционных и теплозащитных покрытий, являются оксид алюминия и диоксид циркония. Свойства плазменных покрытий из этих материалов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Характеристика	Покрытие	
	Оксид алюминия 15А	Диоксид циркония ПЦП
Плотность, г/см^3:		
объемная	3,16-3,63	4,70-5,24
истинная	3,9	5,56
Пористость, %	6,0-20,0	8,4-16,0
Предел прочности при изгибе МПа (кгс/мм^2)	40-115(4,0-11,5)	-
Коэффициент теплопроводности, Вт/м.К, покрытий при пористости 14 %:		
при 100 °С	21,0	1,22
при 500 °С	7,8	1,32
при 1800 °С	1,64	-

Продолжение табл. 4

Характеристика	Покрытие	
	Оксид алюминия 15А	Диоксид циркония ПЦП
порошковой керамики:		
при 100 °С	29,02	1,76
при 500 °С	8,77	1,87
при 1800 °С	5,27	2,12
Коэффициент термического расширения при 20-1200 °С, °С$^{-1}$	$80 \cdot 10^{-7}$	$55 \cdot 10^{-7}$
Температура, °С:		
плавления	2015	2680
кипения	2980	4300
Огнеупорность в окислительной среде, °С	1950	2500
Термическая стойкость	Хорошая	Удовлетворительная
Химическая стойкость:		
в восстановительной атмосфере	Хорошая	Хорошая
в контакте с углеродом	Удовлетворительная	Удовлетворительная
в кислых шлаках	Хорошая	Хорошая
в расплавах металлов	Хорошая	Хорошая
в основных шлаках	Хорошая	Хорошая

6. СВОЙСТВА САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАЗМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ

6.1 В ряде случаев допустима термическая активация покрытия и детали до температуры плавления покрытия. В этих случаях использование эффекта самофлюсования покрытий позволяет повысить адгезионную прочность сцепления на порядок

за счет полного протекания диффузионных процессов по всей площади адгезионного контакта. Эффект самофлюсования достигается тем, что при оплавлении кремний и бор, входящие в состав самофлюсующихся покрытий, связывают кислород, адсорбированный на поверхности порошка в боросиликатные шлаки, которые всплывают на поверхность. При оптимальных режимах оплавления пористость покрытия практически полностью исчезает.

Имея твердость до $HRC_э 60$, покрытия из самофлюсующихся сплавов, благодаря мелкодисперсным высокотвердым карбидным и карбоборидным включениям в мягкой матрице, обладают высокими антифрикционными свойствами наряду с повышенной износостойкостью. Процесс оплавления приводит к формированию прочного адгезионного контакта за счет диффузионных процессов, что выгодно отличает покрытия из самофлюсующихся сплавов по сравнению с материалами, не расплавленными после напыления. Этим вызвано широкое применение самофлюсующихся покрытий в различных областях техники. Некоторые свойства самофлюсующихся покрытий приведены в табл. 5.

Таблица 5

Характеристика	Покрытие			
	ПГ-ХН80СР-2	ПГХН80СР-4	СНГН-55	ВСНГН-35
Температура плавления, °C	1050-1080	990-1020	1050	1070
Твердость, $HRC_э$	Не менее 25	Не менее 55	Не менее 55	60-64
Плотность, г/см^3	7,6-7,9	7,6-7,9	7,6-7,9	8,7
Модуль упругости E, МПа	12,6	12,6	12,6	45,6
Прочность на растяжение, МПа	-	380-410	360-380	-
Относительная износостойкость по отношению к стали	2-3	3-5	5-10	-

7. СВОЙСТВА ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

7.1. Наибольшее применение до настоящего времени нашли износостойкие покрытия из карбидов вольфрама с кобальтовой связкой, а также оксидные покрытия. Основные свойства некоторых детонационных покрытий приведены в табл. 6.

Таблица 6

Характеристика	Покрытие			
	ВК-15	80 % карбида хрома, 20 % ПХ20480	85 % карбида титана, 15 % ПХ20Н80	Глинозем Г-00
Пористость, %	0,25-1	1	0,5-1	3
Коэффициент термического расширения, $^{o}C^{-1} \cdot 10^{-6}$	8,1	9	-	6,8
Микротвердость, МПа	1050	700	500	1100
Максимальная температура эксплуатации, ^{o}C	540	980	870	980

СОДЕРЖАНИЕ